

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Tentang Timbal (Pb)

Timbal merupakan salah satu jenis logam berat yang sering juga disebut dengan Plumbum atau timah hitam. Timbal memiliki titik lebur yang rendah yaitu $327,5^{\circ}\text{C}$, titik didih 1744°C , titik leleh 1740°C , dan massa jenis $11,34 \text{ g/cm}^3$ (Fardiaz, 1992). Timbal mempunyai simbol Pb dengan nomor atom 82, berat atom 20,2, berat jenis 11,34. Berdasarkan sistem periodik, logam berat Pb termasuk dalam grup IV A dan mempunyai valensi 0, +2, dan +4. Pb (+2) biasanya ditemukan dalam bentuk garam anorganik, sedangkan Pb (4+) adalah unsur utama dalam senyawa organik.



Gambar 2.1. Serbuk Timbal (Pb)
(Sumber : Fardiaz, 1992)

Menurut Fardiaz (1992) menyatakan bahwa Pb memiliki karakteristik yaitu larut dalam HNO_3 encer dan pekat, sedikit larut dalam HCL dan H_2SO_4 pekat. Palar (2004) mengungkapkan bahwa logam berat Pb pada suhu $500\text{-}600^{\circ}\text{C}$ dapat menguap dan membentuk oksigen di udara dalam bentuk timbal oksida (PbO). Secara alamiah Pb tersedia dalam jumlah kecil pada batu-batuan, penguapan larva, tanah, data tumbuhan. Timbal komersial dihasilkan oleh penambangan, peleburan, dan pengolahan ulang sekunder. Sumber-sumber lain yang menyebabkan bermacam-macam Pb berada dimana-mana, diantaranya batu bara, asap dari pabrik yang mengolah senyawa alkil-Pb, Pb-oksida, peleburan bijih Pb, dan transfer kendaraan bahan bakar bermotor, karena senyawa alkil-Pb yang berada pada bahan tersebut dapat menguap dengan mudah (Palar, 2004).

2.2 Pengaruh Timbal (Pb) Terhadap Kesehatan Manusia

Timbal (Pb) merupakan pencemar lingkungan paling berbahaya yang mempengaruhi semua sistem biologis melalui paparan udara, seperti dari hasil aktivitas industri, penambangan, peleburan, bahkan juga ada yang berasal dari air, dan sumber makanan (Patra, Rautray, & Swarup, 2011). Pb yang terhirup atau tertelan oleh manusia dan masuk ke dalam tubuh akan beredar mengikuti aliran darah kemudian diserap kembali di dalam ginjal dan otak. Berdasarkan sifatnya yang toksik paparan Pb yang terjadi secara terus-menerus dapat mengakibatkan berbagai gangguan kesehatan bagi tubuh (Jadhav, Sarkar, Patil, & Tripathi, 2007), seperti peningkatan stres oksidatif, reproduksi, ginjal, dan gangguan pada sistem saraf hematopoietik pada manusia (Flora, Gupta, & Tiwari, 2012).

Berbagai kajian yang menyatakan bahwa Pb memberikan dampak buruk bagi kesehatan telah banyak dilaporkan. Sistem kardiovaskular, keracunan Pb akut dan kronis berkontribusi pada kerusakan vaskular dan jantung serta kemungkinan konsekuensi fatal seperti penyakit kardiovaskular dan hipertensi (Navas-Acien *et al.*, 2007). Gangguan tekanan darah dipaparkan oleh Carmignani *et al.* (2000) yang menyatakan bahwa Pb dapat menyebabkan hipertensi darah.

Gangguan lain yang diakibatkan oleh Pb pada neurobehavioral dijelaskan pada neurotoksisitas. Pb dalam paparan tinggi pada manusia dapat mengganggu sistem saraf perifer maupun saraf sentral. Salah satu contoh efek yang diakibatkan oleh paparan Pb pada sistem saraf perifer terdeteksi dalam bentuk neuropati perifer, termasuk penurunan aktivitas motorik karena kehilangan selubung mielin yang mengisolasi saraf, oleh karena itu paparan Pb dapat merusak transduksi impuls saraf dan mengganggu regulasi kalsium yang mengakibatkan kurangnya koordinasi otot, kelelahan dan kelemahan otot, serta aktivitas biologis lainnya (Sanders, Liu, Buchner, & Tchounwou, 2010). Pengaruh Pb pada otak akan menyebabkan kerusakan di hippocampus, korteks serebral prefrontal, dan otak kecil dapat menyebabkan berbagai gangguan neurologis, seperti keterbelakangan mental, kerusakan otak, kelainan perilaku, penyakit pada sistem saraf (Sanders *et al.*, 2010). Beralih pada sistem reproduksi, paparan Pb juga memberikan efek merugikan. Menurut Elgawish & Abdelrazek (2014) menyatakan bahwa paparan

Pb dapat menyebabkan fungsi organ reproduksi pria terganggu, seperti kelainan sperma dan viabilitas sel sperma berkurang.

2.2 Pengaruh Timbal (Pb) Pada Hewan

Berdasarkan sifat toksiknya Pb merupakan bahan kimia yang paling banyak ditemui dari berbagai sumber. Timbal (Pb) bukan hanya memberi dampak negatif pada lingkungan sebagai bahan kimia polutan, namun juga memberikan dampak buruk bagi kesehatan manusia hingga hewan. Keracunan Pb pada hewan ditemukan dari berbagai sumber yaitu, polusi industri, praktik pertanian yang mencemari tanah, serta kontaminasi pakan dan air yang terhirup dan tercerna dalam tubuh hewan. Kandungan Pb melebihi batas ambang dalam tubuh hewan dapat mengakibatkan kinerja yang buruk, keracunan, hingga kematian pada hewan (McDowell, 2003).

Berbagai kajian tentang dampak buruk Pb pada hewan telah banyak diungkap. Pb dapat menyebabkan perubahan fungsi testis pada satwa liar (Assi *et al.*, 2016). Pendapat lain juga diungkapkan oleh Hsu & Guo (2002) yang menyatakan bahwa efek toksik yang diberikan oleh Pb pada sperma tikus di bawah paparan ROS *secara in vitro* menurunkan laju penetrasi dalam zona utuh ovum dan menunjukkan reaksi akrosom awal. Hal ini juga diperkuat oleh Assi *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa Pb dengan kadar kadar 30 µg /dL dalam darah menyebabkan siklus estrus yang tidak seimbang pada tikus betina, sedangkan Pb dengan kadar kadar 53 µg/dL dapat menimbulkan kista folikel ovarium pada tikus betina. Sifat beracun Pb pada hewan lain seperti bebek juga diungkap oleh Osmer (2014) yang menyatakan bahwa Pb yang terlarut dalam air danau tempat bebek mencari makan dan minum dapat menyebabkan bebek keracunan hingga mengalami kematian.

2.3 Pengaruh berbagai konsentrasi Timbal (Pb) terhadap *D. melanogaster*

Sifat beracun yang dimiliki oleh Pb dapat memberikan berbagai gangguan pada makhluk hidup, salah satunya *D. melanogaster*. Keracunan Pb pada *Drosophila* ditemukan dari berbagai sumber yaitu, polusi industri, praktik

pertanian yang mencemari tanah, serta kontaminasi pakan dan air yang terhirup, tercerna dalam tubuh hewan dan terakumulasi pada beberapa organ hewan kecil ini. Peterson *et al.*, (2017) melaporkan bahwa akumulasi Pb yang mengontaminasi tubuh imago *D. melanogaster* terakumulasi pada sistem pencernaan khususnya pada midgut (usus halus) dan bagian abdomen pada larva *D. melanogaster*.

Berbagai kontaminasi Pb memberikan bermacam-macam pengaruh bergantung pada kadar konsentrasi Pb yang terpapar atau sengaja dipaparkan. Beberapa penelitian telah mengkaji varian kadar konsentrasi Pb dengan berbagai pengaruhnya. Timbal dengan kadar 20-30ppm dapat meningkatkan periode larva dan pupa, namun menurunkan tingkat perubahan larva menjadi pupa, pupa menjadi imago, waktu penetasan pupa, penurunan laju pertumbuhan panjang dan lebar larva, pupa, dan imago (Mathew & NB, 2018; Safaee, Fereidoni, Mahdavi-Shahri, Haddad, & Mirshamsi, 2014). Al-Momani & Massadeh (2016) Pb dengan kadar 500ppm dapat menurunkan tahapan pupa menjadi imago sebesar 95-100% dan pada 1000ppm dapat menurunkan kelangsungan hidup *D. melanogaster*. Informasi lainnya dengan kadar Pb yang lebih tinggi dilaporkan oleh Ratningsih, Syarif, & Marten (2005) bahwa Pb dengan kadar 5034ppm dapat menginduksi mutasi letal pada *D. melanogaster*. Pendukung lain juga diperkuat oleh (Hirsch *et al.*, 2003) yang melaporkan bahwa paparan Pb dengan kadar 2-100 mikrogram/g mengakibatkan aktivitas lokomotor pada *D. melanogaster* jantan menurun, menurunnya jumlah betina yang kawin, serta tidak adanya peningkatan fekunditas pada *D. melanogaster*. Berdasarkan ulasan yang telah disampaikan dapat diketahui bahwa Pb dengan kadar 500ppm sampai 5034 ppm dapat mempengaruhi perilaku *D. melanogaster*.

2.4 *Drosophila melanogaster* Sebagai Organisme Model

Drosophila melanogaster merupakan spesies serangga dalam ordo Diptera dan famili Drosophilidae. Awal tahun 1900-an Thomas Hunt Morgan memperkenalkan *D. melanogaster* sebagai organisme model dalam riset genetika (Markow *et al.*, 2015). Kini *D. melanogaster* diaplikasikan secara lebih luas untuk mengungkap berbagai fenomena biologis yang terdapat pada manusia, seperti

cacat genetik terhadap gangguan fenotip pada organisme (Mackay, 2010; Pandey & Nichols, 2011), fagositosis dalam perkembangan, apoptosis, dan imunitas (Meier, Finch, & Evan, 2000; Nainu, Shiratsuchi, & Nakanishi, 2017; Nainu, Tanaka, Shiratsuchi, & Nakanishi, 2015).



Gambar 2.2. *Drosophila melanogaster*
(Sumber : Markow *et al.*, 2015)

Drosophila melanogaster termasuk dalam golongan hewan tidak bertulang belakang (invertebrata) dan memiliki ukuran tubuh yang relatif kecil yaitu 3 mm. Serangga ini memiliki ukuran genom 180 MB (Megabasa) yang tersebar pada empat kromosom (Adams *et al.*, 2000). Jumlah kromosom yang sedikit *D. melanogaster* dipilih menjadi organisme model untuk mempelajari pengaturan dan aktivitas fungsi gen, mekanisme penyusun gen dalam kromosom, hingga pola mutasi pada organ eukariotik sederhana (Pandey & Nichols, 2011; Ugur *et al.*, 2016; Wangler *et al.*, 2015). *Drosophila melanogaster* memang memiliki genom yang sederhana, namun 75% gen pada *D. melanogaster* diperkirakan memiliki kemiripan dengan gen pada manusia (Chien *et al.*, 2002; Panchal & Tiwari, 2017; Reiter *et al.*, 2001).

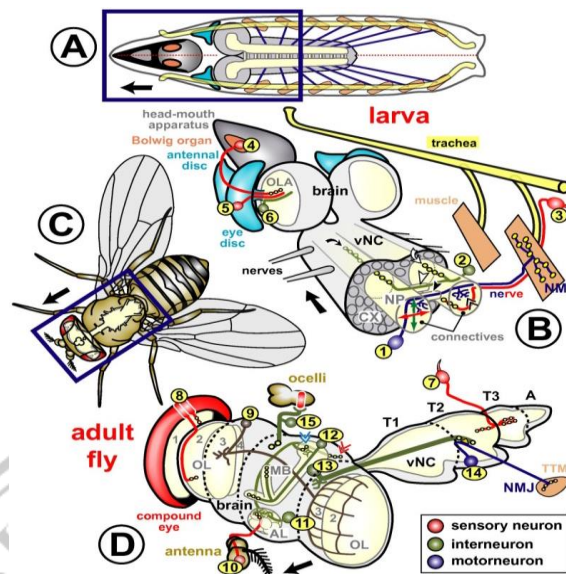
Secara eksperimental, *D. melanogaster* memiliki beberapa keuntungan. *Drosophila melanogaster* mudah dipelihara dan harganya relatif murah jika dibandingkan dengan organisme model lain seperti ikan danio zebra, mencit, dan tikus (Giacomotto & Ségalat, 2010; Pandey & Nichols, 2011; Strange, 2016), dengan jumlah dana yang terbatas, hal ini sangat menguntungkan bagi para peneliti. Keuntungan lain yang diberikan oleh *D. melanogaster* siklus hidup yang relatif cepat (sekitar 2-3 bulan), kelebihan ini biasanya dimanfaatkan oleh peneliti untuk meneliti proses biologis seperti penuaan (aging) (He & Jasper, 2014).

Kelebihan lainnya siklus hidupnya relatif cepat, sehingga peneliti dapat meneliti efek perlakuan baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

2.5 Mekanisme Toksisitas Timbal (Pb) Pada Sistem Saraf

Efek neurotoksik Timbal (Pb) dapat menghambat kerja kalsium sebagai pengatur fungsi sel. Pada tingkat neuronal, paparan Pb mengubah pelepasan neurotransmitter dari ujung saraf presinaptik, sehingga pelepasan spontan ditingkatkan dan pelepasan yang ditimbulkan terhambat. Hal ini terjadi karena aktivasi protein kinase pada ujung kurva untuk memblokir saluran kalsium bergantung pada tegangan (Bressler & Goldstein, 1991). Gangguan aktivitas neuronal ini, dapat mengubah proses perkembangan pembentukan sinaps dan menghasilkan kerja otak yang kurang efisien. Mekanisme homeostatis (keseimbangan) otak terganggu oleh paparan pada konsentrasi Pb yang lebih tinggi. Jalur terakhir terjadi gangguan atau sawar (penghalang fisik) pada pembuluh darah ke otak, sehingga kemampuan dalam mengontrol kalsium dan mengaktifkan protein kinase dapat mengubah perilaku sel endotel di otak yang belum matang dan menjadi penghalang (Lidsky & Schneider, 2003). Selain efek toksik langsung pada sel endotel, Pb dapat mengubah secara tidak langsung mikrovaskulatur dengan merusak astrosit (ganglia yang merepon seluruh stimulasi terhadap sistem saraf pusat). Hal tersebut dapat menjadi penghalang fisik sinyal-sinyal yang akan melewati otak yang kemudian akan mempengaruhi berbagai aktivitas yang dikendalikan oleh otak, salah satunya yaitu tingkah laku.

Chapman RF (1998) melaporkan serangga termasuk *Drosophila* memiliki sistem saraf yang terbuat dari serangkaian ganglia yang terhubung oleh *ventral nerve cord* yang terdiri dari dua koneksi paralel di sepanjang perut, setiap segmen tubuh memiliki 1 ganglion pada setiap sisi dengan berbagai fungsi tertentu dan segmen kepala mengandung otak yang dikenal sebagai *supraesophageal ganglion* yang terbuat dari tiga pasangan ganglia yang berfusi yang berperan mengontrol mulut, kelenjar ludah dan otot. Adapun berbagai sistem saraf *D.melanogaster* ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Sistem saraf *Drosophila melanogaster*
(Sumber : Sáchez-Soriano, Tea, Whittington, & Prokop, 2007)

2.6 Perilaku *Drosophila melanogaster*

Seperti makhluk hidup pada umumnya *D. melanogaster* memiliki berbagai macam perilaku, seperti perilaku memanjat dan perilaku pupasi. Satu pola perilaku pada *D. melanogaster* terbentuk karena adanya keterlibatan banyak gen yang memiliki fungsi yang berbeda dan letak pada jaringan yang berbeda pada waktu yang berbeda (Sokolowski, 2001). Selama proses perkembangan lalat hingga menjadi dewasa perilaku sangat peka terhadap interaksi jaringan gen. Cara mengetahui bagaimana gen memiliki peran terhadap perilaku, unit fungsi perilaku harus dikarakterisasi dan diidentifikasi terlebih dahulu.

Selain kontribusi berbagai macam gen, Singgih (2003) juga melaporkan bahwa tingkah laku terbentuk karena aktivitas sistem saraf, seperti analisis informasi, sintesis, dan integrasi yang ada didalamnya. Gen dan saraf saling memiliki keterkaitan, karena gen mengatur perkembangan suatu sel, kemudian membentuk suatu jaringan dan menjadikannya sebuah sistem, salah satunya yaitu sistem saraf. Jaringan saraf ini akan menghasilkan gerakan dan mengatur pola temporal yang khas dan menjadikannya sebuah ciri perilaku pada organisme (Sokolowski, 2001).

Salah satu bukti yang menunjukkan bahwa kontribusi gen dalam jaringan saraf menghasilkan gerakan yang membentuk pola yang khas dan menjadikannya sebuah perilaku telah dijelaskan oleh Xu *et al.* (2004) yang menyatakan bahwa gen DFMR1 mempengaruhi sistem saraf, kemudian mengatur pergerakan pada perilaku merangkak larva *D. melanogaster*. Apabila gen ini hilang karena adanya mutasi maka durasi dan persentase waktu merangkak yang dilakukan oleh larva *D. melanogaster* akan mengalami penurunan.

2.7 Sumber Belajar Biologi

Menurut *Association for Educational Communication of Technology* segala sesuatu dan daya yang dimanfaatkan oleh guru merupakan makna dari sumber pembelajaran. Sumber pembelajaran dimanfaatkan oleh guru untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi untuk menunjang tercapainya tujuan pembelajaran. Abdullah (2012) juga melaporkan bahwa sumber belajar merupakan pesan, teknik, latar, dan bahan yang dapat dimanfaatkan peserta didik baik secara mandiri maupun gabungan untuk meningkatkan kinerja belajar mereka. Setiyani (2010) menyampaikan sumber belajar dibagi menjadi dua bagian antara lain sebagai berikut.

1. Sumber belajar yang sengaja dirancang (*learning resources by design*) merupakan segala komponen yang bersifat formal, terstruktur, dan terarah dan dikembangkan secara khusus sebagai komponen instruksional.
2. Sumber belajar yang dimanfaatkan (*learning resources by utilization*) merupakan komponen yang dapat ditemukan, dimanfaatkan, dan diaplikasikan oleh guru untuk proses pembelajaran namun, komponen ini tidak secara khusus didesign untuk keperluan proses pembelajaran.

Sumber belajar tentunya memiliki berbagai fungsi dalam proses pembelajaran. Adapun beberapa fungsi sumber belajar menurut Morison (dalam Abdullah, 2012) antara lain sebagai berikut.

1. Meningkatkan produktivitas pembelajaran dengan cara manajemen waktu yang baik agar dapat mengoptimalkan proses pembelajaran.
2. Memberikan pembelajaran yang sifatnya lebih perorangan dan memberikan

3. Seluas-luasnya peserta didik untuk belajar sesuai dengan kemampuannya yang dimilikinya.
4. Memberikan dasar yang rasioanal dan ilmiah pada peseta didik untuk menerapkan sikap ilmiah dan bersandar pada fakta dan data berdasarkan hasil penelitian.
5. Meningkatkan kemampuan peserta didik dalam penggunaan dan pemanfaatan berbagai media komunikasi
6. Dapat memberikan pembelajaran yang bersifat verbal, nyata dan dapat memberikan informasi yang bersifat langsung.
7. Dapat memberikan cakupan yang lebih luas.

Berdasarkan berbagai fungsi sumber belajar yang telah disampaikan dapat disimpulkan bahwa peserta didik dapat memiliki beberapa keuntungan antara lain, pembelajaran mudah diserap dan dapat memancing bakat terpendam yang ada dalam diri peserta didik. Tidak hanya sisi positif yang dapat diberikan oleh adanya sumber belajar. Sumber belajar yang tidak memadai juga dapat memutus informasi sehingga peningkatan kualitas pembelajaran tidak maksimal, hal ini dikarenakan sumber belajar yang digunakan kurang kontekstual dan bersifat ilmiah. Sumber belajar yang bersifat kontekstual dan ilmiah dapat ditemukan pada hasil penelitian. Fidiastuti & Rozhana (2016) melaporkan bahwa pembelajaran yang didasarkan pada hasil penelitian diharapkan dapat mewujudkan pembelajaran yang kontekstual dan menanamkan hakikat sains pada peserta didik bersarkan fakta dan data.

Menurut Djohar yang dikutip oleh Aprisiwi & Sasongko (2014) hasil penelitian dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar apabila memenuhi syarat-syarat sumber belajar sebagai berikut.

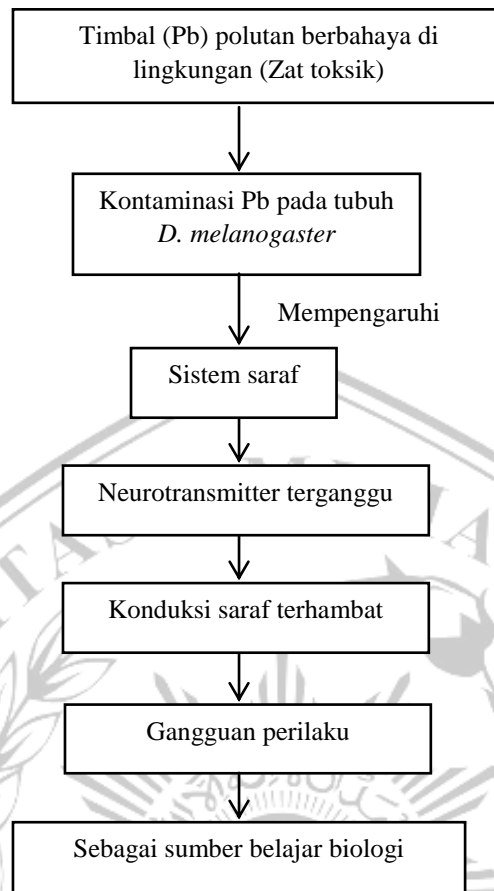
1. Kejelasan potensi, artinya permasalahan atau obojek yang diangkat dalam penelitian memiliki fakta yang jelas, dan konseptual
2. Kejelasan tujuan, artinya hasil penelitian dapat disesuaikan dengan KD dan ada dalam kurikulum k-13
3. Kejelasan sasaran berupa subjek dan objek dalam penelitian
4. Kejelasan informasi yang diungkap berupa produk dan proses

5. Kejelasan pedoman eksplorasi, berkaitan dengan prosedur kerja yang mencakup alat, bahan dan langkah kerja
6. Kejelasan perolehan yang diharapkan, artinya produk dan proses hasil penelitian dapat dijadikan sumber pembelajaran berdasarkan beberapa aspek yang menunjang tujuan pembelajaran yang mengenai aspek kognitif, afektif, dan psikomotor.

2.8 Kerangka Konseptual

Timbal (Pb) merupakan salah satu polutan paling berbahaya dalam lingkungan. Kontaminasi Pb dapat terjadi karena masuknya senyawa logam berat tersebut ke dalam baik melalui paparan langsung atau rantai makanan, sehingga menjadikan toksik dalam tubuh *D. melanogaster*. Toksik yang disebabkan oleh Pb dalam tubuh dapat mengganggu neurotransmitter pada sistem saraf sehingga konduksi saraf terhambat dan menyebabkan gangguan perilaku pada *D. melanogaster*.

Kontaminasi Pb dimungkinkan memiliki potensi untuk mempengaruhi perilaku *D. melanogaster* akan diungkap. Kontaminasi Pb akan ditunjukkan pada kemampuan *D. melanogaster* terhadap perilaku imago memanjat dan perilaku pupasi. Berdasarkan hasil penelitian terhadap kajian yang telah disampaikan, untuk memperluas manfaat keilmuannya, maka hasil penelitian ini dijadikan sebagai sumber belajar biologi.



Gambar 2.3. Skema kerangka konseptual

2.9 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan, maka hipotesis dari penelitian ini adalah ada pengaruh Timbal (Pb) terhadap perilaku *D. melanogaster*.